

УДК 532.5

СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА РУЛЕВЫХ МАШИН

Макарьянц Г. М., Прокофьев А. Б., Шахматов Е. В., Макарьянц М.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва
(национальный исследовательский университет), г. Самара

Наземные испытания на функционирование рулевых машин ракет-носителей являются важным этапом обеспечения безаварийности полёта. Испытательный стенд является гидроприводом рулевых машин, обеспечивающим подачу рабочей жидкости АМГ-10 с расходом до 0.6 л/с и давлением до 20 МПа в управляющие гидроцилиндры. Блок подготовки рабочей жидкости включает в себя гидробак, плунжерный насос, клапана, фильтры, соединительную арматуру, пневмосистему наддува гидробака. При проведении испытаний наблюдалась повышенная вибрация элементов стенда, в том числе трубопроводной обвязки, в результате чего происходило образование продольных трещин на трубопроводах напорной магистрали и нарушение работоспособности испытательного стенда.

Проведённые экспериментальные исследования показали высокий уровень пульсаций давления рабочей среды в напорной гидромагистрали. Зарегистрированный в ходе экспериментов спектр пульсаций давления непосредственно на выходе из плунжерного насоса представлен на рисунке 1а. Наиболее интенсивная частотная составляющая пульсаций давления соответствует плунжерной гармонике насоса (503 Гц). Амплитуда колебаний давления на этой частоте в зависимости от среднего давления в линии нагнетания ($P_{cp}=14...20$ МПа) изменялась в диапазоне 2.9...4.0 МПа. Кроме того, в спектре пульсаций присутствуют высшие гармоники с частотами 1010, 1510 и 2020 Гц. Их вклад в общую энергетику колебаний давления весьма значителен и составляет порядка 52...60% для различных режимов работы стенда. На рисунке 1б представлена спектрограмма виброскорости, зарегистрированная пьезоакселерометром, установленным на корпусе обратного клапана линии нагнетания. Максимальная амплитуда в спектре виброскорости соответствует частоте плунжерной гармонике насоса. В спектре вибрации присутствуют частотные составляющие, соответствующие всем высшим плунжерным гармоникам. Необходимо отметить также наличие низкочастотного шума с максимумом в районе 50 Гц. Вибрация трубопроводной обвязки на этой частоте обусловлена кинематическим возбуждением со стороны электродвигателя и плунжерного насоса.

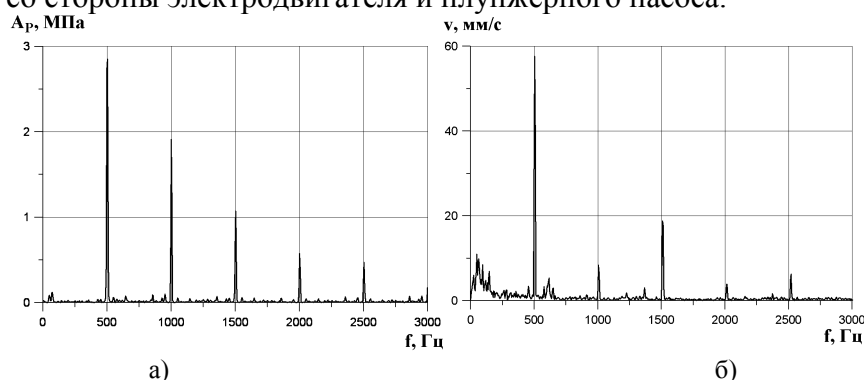


Рисунок 1. Спектрограммы основных динамических характеристик стенда в его исходном состоянии

а) Спектр пульсаций давления на выходе из насоса.

б) Спектр виброскорости на корпусе обратного клапана линии нагнетания.

Для повышения работоспособности стенда и снижения вибронапряжённости элементов трубопроводной обвязки предложены мероприятия по коррекции динамических характеристик гидромагистрали. На первом этапе были разработаны гасители колебаний

жидкости типа ответвлённого резонатора [1]. При этом для точной подстройки под режим работы стенда предусматривалась возможность регулирования объёма полости резонатора. В напорную гидромагистраль было установлено 2 таких резонатора: один – непосредственно на выходе из насоса; второй – на расстоянии 0.8 м от насоса.

На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента вносимого затухания по первой гармонике, определяемого как отношение амплитуды пульсаций давления в каком-либо сечении системы до и после установки гасителя колебаний [1, 2], от объёма регулируемой полости второго резонатора. При этом объём полости первого резонатора был настроен на оптимальную величину. Применение резонаторов с оптимальным объёмом позволило снизить амплитуду колебаний давления рабочей жидкости на плунжерной гармонике в 6.5 раз. При этом ресурс работы трубопроводной обвязки увеличился приблизительно в 2 раза.

Резонаторы, обеспечив значительное снижение пульсаций давления на плунжерной гармонике, практически не повлияли на интенсивность высших гармоник.

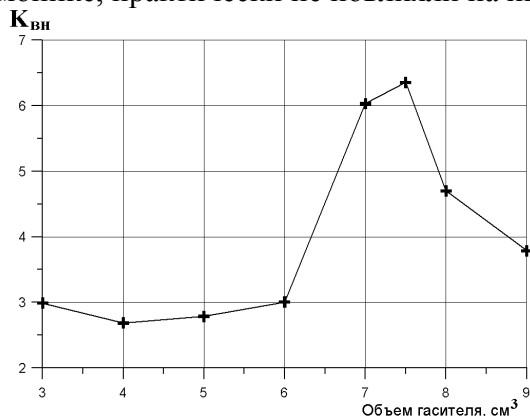


Рисунок 2. Зависимость коэффициента вносимого затухания по первой гармонике от объема регулируемой полости ответвленного резонатора

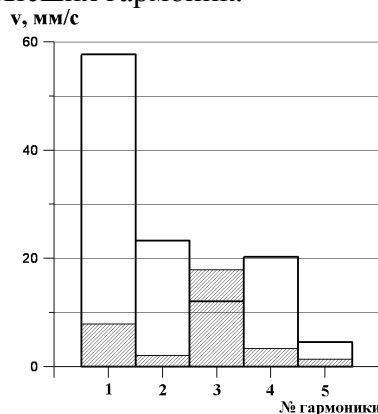


Рисунок 3. Виброскорость сечения трубопровода до и после установки развязывающей емкости:



- до установки;



- после установки.

На втором этапе исследований для более эффективного снижения амплитуд пульсаций давления всех колебательных компонент на выходе из насоса была установлена развязывающая гидравлическая ёмкость объёмом 13 л. Её применение снизило среднеквадратичное значение пульсаций более чем в 30 раз. При этом замеры вибрации на трубопроводе в месте его разрушения показали снижение среднеквадратичного значения виброскорости более чем в 6 раз (см. рис. 3) практически на всех гармониках плунжерной частоты. Некоторое увеличение виброскорости было зарегистрировано на третьей гармонике. Это объясняется тем, что установка ёмкости изменила массовые характеристики системы, и собственная частота рассматриваемого участка трубопроводной системы оказалась близка к частоте третьей плунжерной гармоники. Следует также отметить, что низкочастотный шум в спектре вибрации с максимумом в районе 50 Гц не уменьшился, так как он обусловлен кинематическим возбуждением со стороны электродвигателя и насоса, уровень которого не претерпел изменений.

Таким образом, введение в гидросистему развязывающей ёмкости позволило существенно уменьшить пульсации рабочей жидкости и как следствие – значительно снизить уровень вибронапряжённости трубопроводов, обеспечив работоспособность и требуемый ресурс испытательного стенда.

Список литературы

1. Шорин В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах [Текст]: монография / В.П. Шорин. – М.: Машиностроение, 1980. – 156 с.
2. Шахматов Е.В. Влияние динамических характеристик присоединенных гидравлических цепей на вибрационные характеристики трубопроводов [Текст] / Е.В. Шахматов, А.Б.

Региональная научно-практическая конференция, посвящённая 50-летию первого полета человека в космос

Прокофьев, Г.М. Макарьянц // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва, 2004, №1, с.96-101.